

目 录

第一章 概述	2
第一节 同步发电机的工作原理	2
第二节 用直流发电机(励磁机)励磁的缺点	2
第三节 发电机的电压降落及启动鼠笼式电动机的特性	3
第四节 自励发电机工作原理	4
第五节 自励线路的优点	5
第二章 氧化亚铜整流片的制造	6
第一节 作用原理	6
第二节 电气性能	7
第三节 制造方法	9
第四节 安装与设计	15
第三章 复合变压器	17
第一节 普通变压器的工作原理	17
第二节 复合变压器的结构及工作原理	17
第三节 复合变压器的设计	19
第四节 复合变压器的制造工艺	25
第五节 复合变压器的检查与试验	28
第四章 自励装置的设计举例	29
第一节 设计步骤	29
第二节 设计举例	30
第五章 自励发电机的运行试验	33
第一节 线路的联接	33
第二节 调整试验	34
第三节 自激试验	36
第四节 调差率试验	37
第五节 启动鼠笼电动机试验	38
第六节 短路试验	39
第七节 并列试验	39
第八节 运行时注意事项	40
第九节 经济比较	40
結束語	41

第一章 概 述

第一节 同步发电机的工作原理

电机分为异步机与同步机两种，异步机主要是作电动机用，而同步机主要是作发电机用。

我們知道，当导綫在恒定磁場中运动时，例如导綫在馬蹄形磁鉄中运动时，导綫内就会有电势产生。同理，当导綫不动，而恒定磁場运动，例如馬蹄形磁鉄运动时，也会在导綫中，

产生电势。同步发电机一般就是利用后一种原理制成的。

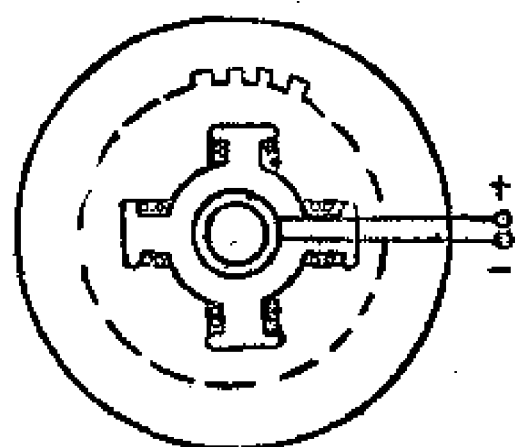


图 1-1 同步发电机

同步发电机的结构(图 1-1)主要分为两部分：(1)轉子，即轉动部分，它的作用相当于上述的磁鉄，不过它是靠通过直流的綫卷(励磁綫卷)来产生电磁鉄磁場的。(2)定子，靜止的部分，相当于上述的导

綫，不过它已經通过了适当的联結繞制在迭成的矽鋼片中，我們把它称作电樞。

第二节 用直流发电机(励磁机)励磁的缺点

前面已經指出，为了要使同步发电机发出电来，必須在励磁綫卷内通过直流电流。目前，我国生产的中小型同步发电机，都是由与发电机联在同一軸上的直流发电机来供給励磁的，这种励磁(或激磁)方式有如下的缺点：

1. 直流发电机结构复杂，制造困难，制造工时多，成本高，据统计^①发电机功率为400瓩时，励磁机成本占发电机成本的15%，发电机为10瓩时，则占35%。

2. 可靠性低，转动部件及换向器易出毛病。据统计，中小型同步发电机故障中85%由励磁机产生。

3. 直流发电机维护麻烦。

4. 技术性能差(下面将详细介绍)。

第三节 发电机的电压降落及起动鼠笼式电动机的特性

发电机的励磁是为了产生电势，励磁电流一定时，电势便不变，而发电机端电压为电势减去其内部电压降。内部电压降与负荷电流有关，负荷电流越大，此电压降越大，因此发电机端电压在带上负荷时，将发生显著下降，这是用励磁机的缺点，图1-2绘出普通同步发电机的线路图。从图中可见，应用励磁机励磁时，如果要维持端电压 $U_{\text{发}}$ 不变，可以在负荷增大时，相应的减小磁场电阻，以增大励磁电流 $I_{\text{励}}$ ，这样使得电势增加，内部压降就得到补偿，但是要变动磁场电阻就需要一个值班人员，这是很浪费人力的。当然，也可以应用一个自动电压调节器(例如自动炭阻调节器)来维持发电机电压恒定，

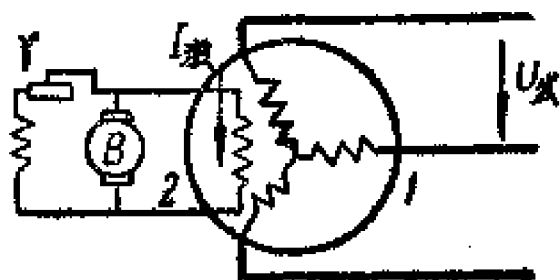


图 1-2 同步发电机的线路图

但这使得发电设备复杂化，而且增加了设备投资。

即使有一个人来专门去调节电阻 r ，有时候也满足不了实际要求。例如起动异步电动机时，起动电流突然增加，发电机内

^①根据某电机厂1958年第一季度资料。

部电压降急剧增加，端电压急剧下降，如果不相应的迅速增加励磁电流以维持端电压，电动机便起动得很慢，甚至起动不起来。另外端电压的猛烈下降又使线路上的电器工作不正常（电灯很暗，正在转动的电动机突然慢下来），甚至发生事故。

第四节 自动发电机工作原理

用半导体整流器的自动励磁装置，可以消除以上的缺点，所谓自励，就是由发电机本身反过来给自己励磁。

图 1-3 是这种励磁线路的一种，里面包括三个元件：变压器 1，半导体整流器 2，干电池 3。当发电机转动起来以后，按按钮 4 使干电池接通，发电机得到一个不大的励磁电流而产生电势，这时发电机还没有接上负荷，此电势就是发电机的端电压，经过变压器变压后加到整流器上，整流器便有一个输出电流，此电流与干电池供给的电流迭加，使电压继续上升，这样循环作用，发电机电压就建立起来了。当电压稳定以后，就可将按钮 4 打开，发电机励磁电流便全部由本身变压器供给。

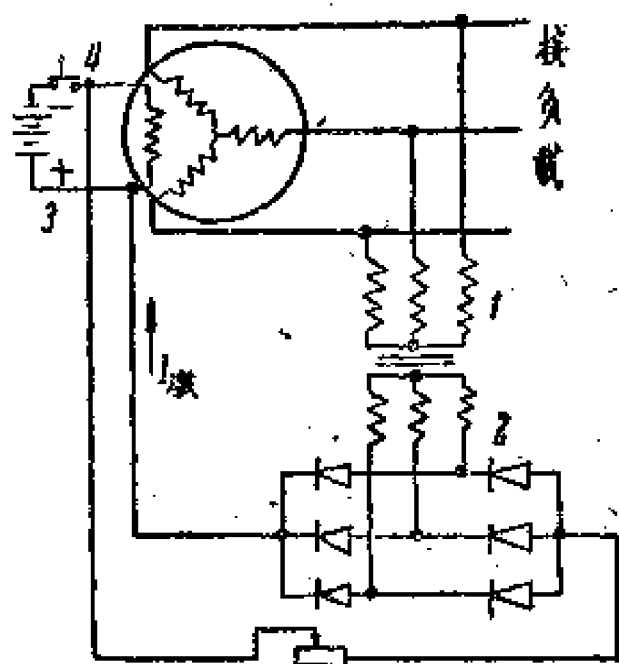


图 1-3 最简单自动发电机线路图

建立最初的电压，也可由增加剩磁来达到，但将使结构复杂，由于采用了容易在市场上买到的电池，而可以利用原有的普通发电机而不对发电机提出特殊要求。

图 1-2 仅能作为原理性的线路，实际运行是不被采用的，因为这里励磁电流仅决定于发电机电压，当发电机电压下降时，励磁电流也

就加速了发电设备的生产。

4. 用这种线路，能起自动稳压作用，发电机从空载到满载，电压变化不超过 $\pm 5\%$ 的范围。

5. 用这种线路能顺利地起动大容量(与发电机的容量比较)的鼠笼异步电动机。

第二章 氧化亚铜整流片的制造

所有的东西，可以按照电流通过它难易的情况，即导电性分为三类：

1. 导体，电流很容易通过它的物体。
2. 绝缘体，电流很难通过它的物体。
3. 半导体，电流通过它的难易程度，位于导体和绝缘体之间。

现有氧化亚铜、硒、硫化物、锗、矽等几种半导体，前面两种应用的比较广泛。氧化亚铜整流片(或称氧化铜整流片)与硒整流片相比较，还有不少缺点，因为氧化亚铜整流片的反向电压仅为硒整流片的一半，同时它又消耗大量的铜，其电阻也随温度变化较大等等，所以目前工业中主要还是硒整流片。但在全民办电的情况下，采用氧化亚铜有它的优越性，因为它的材料(紫铜板)比较容易找到，设备及操作方法也比较简单。下面就着重地来谈谈氧化亚铜整流片。

第一节 作用原理

氧化亚铜整流片的结构如图2-1。在氧化亚铜与铜之间，有一很薄很薄的阻挡层，当正向通电时，它的电阻较小，但当反

面通电时，它的电阻就很大。

正向电流的方向如图 2-1 所示(即由金属电极到铜极)。金属电极可用铝、锌、镍等材料，它的作用就是使电流均匀的流过整个整流片，使正向电压降变小，提高整流片的效率。

第二节 电气性能

一、正向电流 $I_{\text{正}}$

氧化铜整流片不能在太冷和太热的条件下工作，只能在 $-30 \sim +60^{\circ}\text{C}$ 的条件下工作。温度过低，会使电阻增加，效率降低；当环境温度温度为 35°C 时，温升仅允许 35°C ，即是它所允许的最高温度是 $70 \sim 75^{\circ}\text{C}$ 。当温度为 80°C 或者更高时，即使短期工作，都是对整流片不利的。

发热的情况，决定了允许通过最大电流的数值，因而在环境温度低时，通过的电流可大些。采用人工冷却后（例如用风扇通风）可以使电流提高 $2 \sim 3$ 倍。

二、正向电压降 $U_{\text{正}}$

$U_{\text{正}}$ 主要分布在阻挡层上，其次是氧化亚铜上。它随着正向电流的增加而增加。温度增加时电阻变小，它会下降。此外老化的结果，会使它增加。

老化就是随着整流片工作时间的增加性能变坏，即正向电阻增加，反向电阻减小，从而使反向电流增加。

$U_{\text{正}}$ 在正常工作时，一般为 $1 \sim 2$ 伏，最大不应超过 2 伏，否则损耗太大，发热严重，降低了效率，也限制了允许通过的最大电流值。由此看出降低 $U_{\text{正}}$ ，是提高整流片质量的一个重要方面。

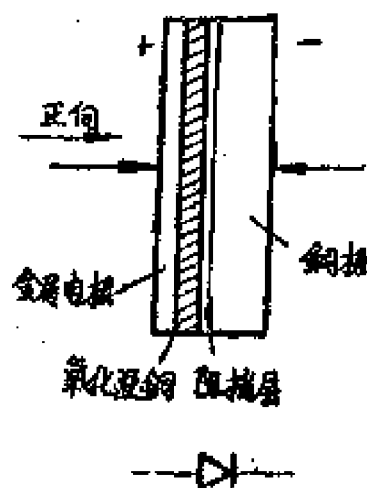


图 2-1 氧化亚铜半导体的结构图

三、反向电压降 $U_{反}$

当反向电压降过高时，会产生击穿，这样整流片将失去作用，因而有限制 $U_{反}$ 的必要。使整流片击穿的反电压称为击穿电压 $U_{击}$ ，它与整流片的质量、使用条件、时间及湿度等有关。

当加上百分之几秒后立即消失的脉冲电压时， $U_{击}$ 可达 70~100 伏。当加压时间不少于几秒的短期作用时， $U_{击}$ 为 20~30 伏。当在潮湿的情况下，即使 $U_{反}=2\sim4$ 伏都可能产生击穿，这是因为水电解后，产生氢的离子，它夺取了氧化亚铜中的氧，而使其还原成铜，从而造成了短路。这一点在制造和使用整流片的过程中，都要特别注意。

根据上述原因，设计时取一般工作的反电压为 8~10 伏，但在短期内，可以允许一定的过载。

对于图 2-3 (b) 的型号且双面的整流片我们实验结果如表 2-1。

表2-1

加 压 方 式	电 压 (伏)	时 间 (秒)	结 果
渐 渐 增 加	20	60~120	发热严重，电压加不上，击穿。
突 然 增 加	30	10	发热不很严重，性能不变
突 然 增 加	40	10	发热严重，性能变坏， $I_{反}$ 增大

室温 $t=13^{\circ}\text{C}$ ，单片，自然冷却，未经人工老化(由于时间短促之故)。以下全是在这样的条件下进行的。

四、反向电流 $I_{反}$

当然 $I_{反}$ 越小越好，否则会使整流器的输出电流平均值下

降，而且增加損耗，降低效率。

在滿載工作时，反向电流为正向电流的 5% 时，即認為整流片是可用的。

我們应当知道整流器伏安特性，以便判断整流片的性能。我們得到的伏安特性曲綫，如图 2-2 所示。

第三节 制造方法

总的程序：剪料
 → 清洗 → 加热 →
 冷却 → 除去氧化銅
 → 电镀、貼錫箔 →
 檢查 → 老化。下面将
 一一叙述。

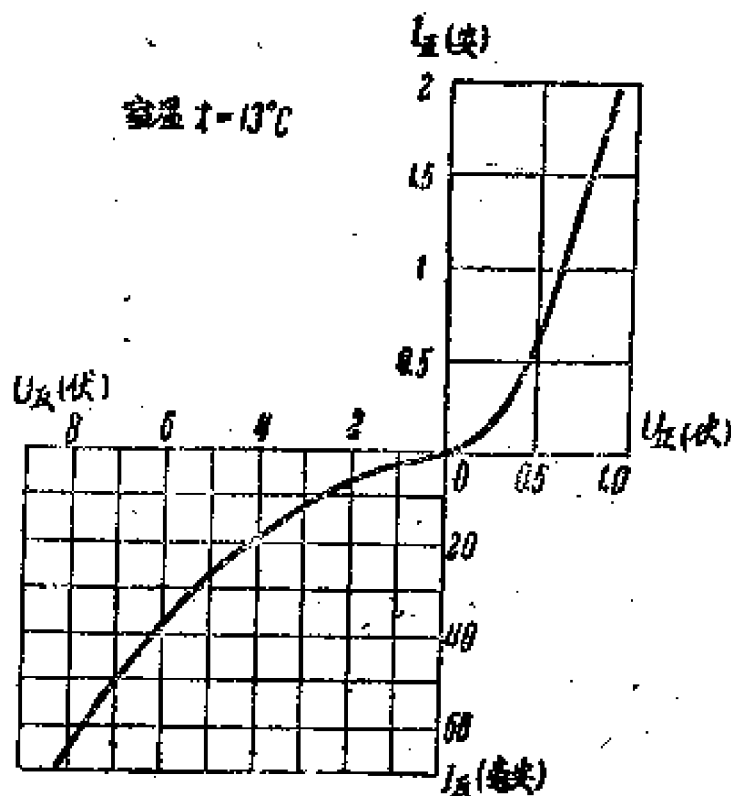


图 2-2 氧化亚銅整流片伏安特性

一、材料、尺寸

一般工业中比較好的紫銅板即可作为原材料。当然越純越好，最好含銅量不低于 99.96%。这实际上是很难办到的。但純度太低，那就会在还没有加热到 $1,030^{\circ}\text{C}$ 时就熔解，或者放入冷水中时，氧化膜大部分脫落。

目前有下面这几种尺寸(如图 2-3 所示)，同时也有双面的与单面的。所謂双面就是两面都有氧化亚銅，这就相当两个整流片并联。对于大功率来說，应采用双面方形的。

采用何种方式，可視需要决定，也可自行設計。考虑到設備和技术条件，建議取电流密度 $j = 20$ 毫安/公分²，这样，用

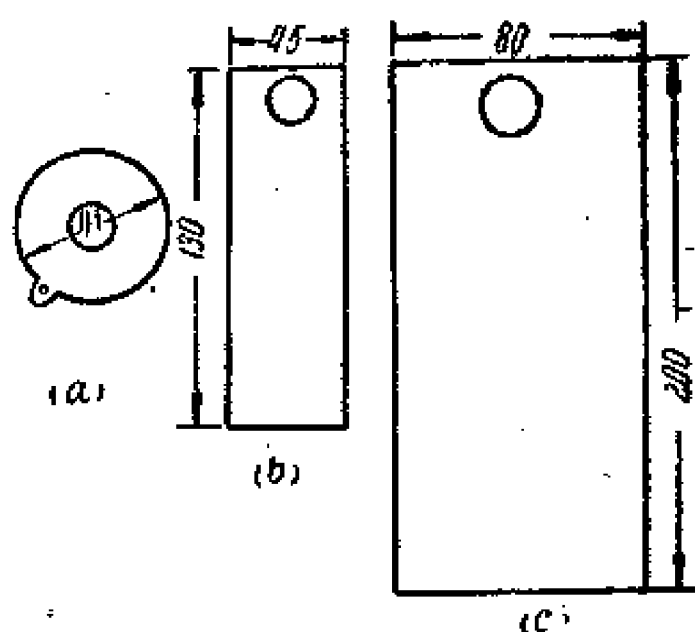


图 2-3 氧化亚铜整流片的几种尺寸

以下的公式就可以决定所需面积尺寸之大小。

$$S = \frac{I_{\text{正}}}{2 \times j}$$

$I_{\text{正}}$ 为要求通过的电流平均值，乘 2 就是因为一般采用双面的。

二、清 洗

把铜料放入浓度为 30% ① 的硝酸中约 1 分钟，取出后用清水冲，刷子刷；然后放入 5% 的苛性钠中，把残存的酸中和掉，然后再用刷子刷，清水冲；最后烘干。这是酸处理的全部过程（以后酸处理全是这样，不再重复）。

放入酸中的时间最好不要过长，以免被腐蚀的太深，腐蚀物附于其上面而不脱落；采用砂纸擦时，砂纸不可过粗，用力也不可过大，否则会造成深纹；这样都对氧化膜生成不利。当然，用一般的清洗方法清洗一下也是可以的。

三、加 热

把铜料放入 1,030~1,040°C 的炉子中（温度应始终保持恒定），对图 2-3(a) 的尺寸加热时间为 10~12 分钟，对 (b) 为 12~14 分钟，对 (c) 为 20 分钟。

在这一过程中，氧化铜及氧化亚铜开始生成。温度的高低还可视铜的质量而定，不过一般在这样的温度下最适合，再高

① 30% 是指 70 份重量的水与 30 份重量的酸相配合。以下的百分数均与此类似。对此比例关系要求并不严格。

就不易控制了，因为純銅的熔点为 $1,080^{\circ}\text{C}$ ，加热時間的长短，可由炉子、共同加热的片数等情况，作适当的变动。我們确定加热的時間越长，反向电流越小，而正向电压降一般就大些，反之，結果也相反，而且会使 $U_{\text{击}}$ 变小。

放入炉中的方法，可采用图 2-4 的架子。

从炉中取出时，有白、黄、紅等几种綜合的顏色，而且半透明平滑，象鏡子一样。

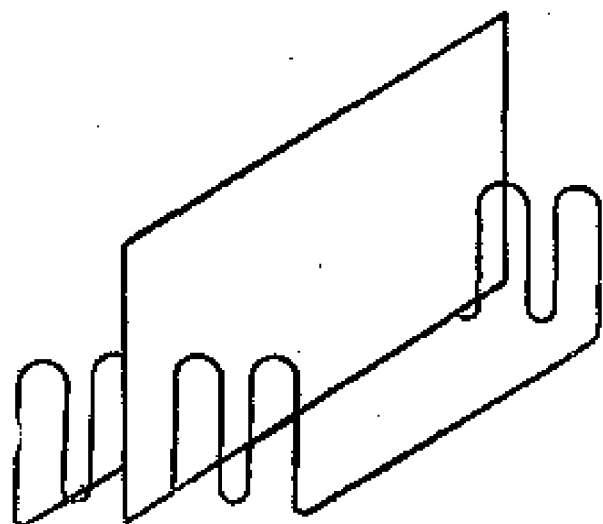


图 2-4 加热氧化亚銅时所用的架子

四、冷 却

迅速地把 1030°C 的銅片，投入 600°C （应保持恆定）的炉子中，停留的时间，对于(a)为 5~7 分，对于(b)为 7~9 分，对于(c)为 17 分。之后迅速投入流动冷水中。

上述冷却过程，对整流片的性能有巨大的影响。在此炉中，氧化亚銅进一步形成和穩定，而且开始分为两层，一是含有 0.03% 过剩氧的氧化亚銅，另一是純氧化亚銅即阻擋层。

当把整流片从冷水中取出时，表面就有一层光滑的深灰色的氧化銅。在棱角处，由于收縮情况不一样，氧化銅及氧化亚銅部分的脫落，露出銅色、紫紅色及紅宝石色。我們認定：在这个炉子停留的时间应比加热炉中的时间短些；半透明紅宝石色越多越深，阻擋作用越好，但正向电压降一般就較大。

五、清除氧化銅

氧化銅各方面的导电性都不好，必須清除。为此用酸处理，有关文献指出，把整流片放在酸中 4~6 分鐘后，氧化銅

就基本上自行脫落。但是我們一般在 15~30 分才脫落，而且表面粗糙，有極小的孔發生，結果常常發生短路現象，使成品率降低。所以後來我們就干脆不用酸，而用砂紙擦，然後用清水沖洗淨，並烘乾（注意不能超過 80°C ）。這樣，短路現象就減少了。要注意砂紙應細些，不要把氧化亞銅擦破，造成短路。

我們認為在酸處理過程中，造成短路的原因是由於腐蝕不均勻，在氧化亞銅薄弱的地方，氫離子把整個氧化亞銅還原成銅了。但這並不能把用酸腐蝕這一方法否定掉，因為它已成功地被廣泛採用了。上述短路現象，僅是少量實驗中的事，我們尚未做進一步的研究。況且用砂紙有這樣一些缺點：即消耗大量的砂紙，又浪費人力。

六、附上金屬電極

大約按照硫酸鋁 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 60，硫酸鋅 ZnSO_4 250，硫酸鈉 Na_2SO_4 150，糊精 10，蒸餾水 H_2O （較清潔的水也可以）1,000 的重量比例配制電解液。放入 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 和 Na_2SO_4 的目的，是使電解液的導電性變好和生成復鹽。糊精是淀粉，作用是使電鍍的表面細致些，而且附着的好些。用甘油也一樣。這兩種材料不用也可以。

把氧化銅整流片露出銅的地方，用漆絕緣或其他的方法絕緣，並烘乾。放入裝有上述電解液的槽中（如圖 2-5）並把銅板作為負極。同時把鋅板（比較純的就可）對稱地放在整流片的兩旁，並做正極。接上直流電源，當有 $j = 15$ 毫安/公分² 的電流通過，時間約為 40 秒即可取出整流片（我們作的整流片截面積 $S = 50$ 公分²，通過 1 安培電流，時間為 40 秒）。我們認為電鍍時採用大電流、短時間的辦法是好的，因為時間長了，往往形成

短路。其原因我們認為也是氫離子在氧化亞銅薄弱的地方，把它全給還原成銅了，或者是鋅離子滲入了塗漆的地方，因而與銅接觸（因為我們漆塗得太厚，電鍍時內部還沒干）。

由於鍍的鋅層較薄，表面電阻還不是很小的，貼上一層錫箔就能使電壓下降，一般可以从3伏多降到1伏多。貼合劑是由石墨、酒精、胶水混合成的，其間无一定的嚴格比例，不過胶水不可過多，否則會使電壓降增加；

但也不可太少，否則貼的不牢。具體比例可通過實驗來配調。应当注意的是石墨粉的顆粒不可過粗，否則成不了漆狀。一般用細銼在固体石墨上銼下來的石墨粉即可。同時更要特別注意，在把石墨漆粘合劑塗到整流片上去時，不要與露銅的地方接觸，而造成短路（這往往是容易犯的毛病）。

貼錫箔有很多缺點，首先就是不牢固，易損壞，特別是在整流片發熱比較嚴重時，錫箔都翹起來了，其次手續也并不簡單。我們認為可以考慮用其他的辦法來代替貼錫箔。

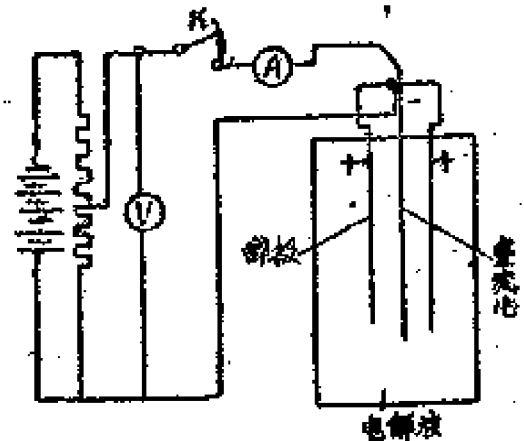


圖 2-5 電鍍裝置

七、質量檢查

採用這樣的線路圖，可以節省大量的時間。

1. 正向 看流過正常工作電流時，電壓降等於多少，是否合格？一般應當滿足 $U_{正} < 1.5$ 伏。我們一般獲得的 $U_{正} = 1.3$ 伏左右（當 $I_{正} = 2$ 安時）。

2. 反向 看接入 8 伏時，反向電流為多少，是否合格？一般應滿足 $I_{反} < 150$ 毫安。我們做的 $I_{反} = 70$ 毫安。

这两条件满足后，整流片即算合格。在作实验时要特别注意以下几点：

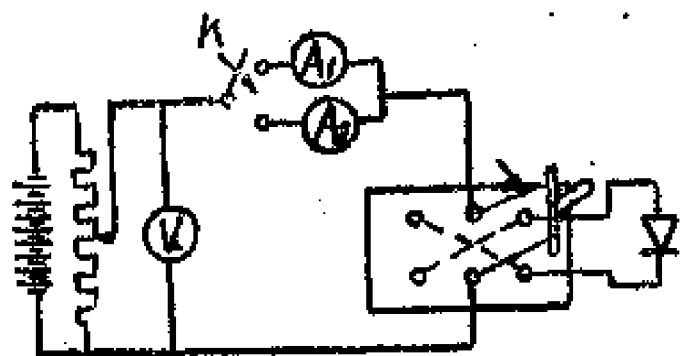


图 2-6 检查线路

A_1 —正向时用安培表； A_2 —反向时用毫安表。

(1) 与整流片接触处必须良好，否则会使电压降变大，或者形成短路。不仅如此，当接触面积增大、压力增加，均会使正向电压变小，一般可以由 2 伏多变成 1 伏多。

(2) 不要带电操作，这样往往由于局部接触不良，而形成火花，把氧化亚铜毁坏。

(3) 当整流片不合乎要求时，不要马上否定，应找找原因。若反向电流过大，或短路，就应把短路的地方找出来，用 30% 的硝酸把锌腐蚀掉。若电压降过大，就可以用酸处理一下，或采用其他办法。这样处理后仍不行者，才算是废品，并考查其原因。

应当提出，在制造过程中，往往容易把过多的精力放在加热和冷却的时间上，而忽视了酸处理及电镀时的时间过长，以及实验时的不正确。根据我们的实验结果来看，造成废品的增加，跟后面这些因素有着重大的影响。

八、人工老化

氧化亚铜整流片的老化现象，比其他半导体整流片均严重。特别在初期时。为了使之尽早稳定下来，为了加速老化这一过程，我们就必须采用人工老化。人工老化就是将整流片放入 50° 的保温箱中，经过 24 小时后取出。对于要求高稳定的整流片，应把它放在 90° 中保温，时间长些，甚至数日。

第四节 安装与設計

一、安 裝

我們是采用如下的联結方法：即把整流片鑽有孔的一端，用帶有絕緣紙的螺杆联結起来，并把两金屬板并联，而在銅板上焊上導綫，每片之間应注意絕緣，这样就可以按照我們的需要串并联了。具体如图 2-7 所示。

最后再把它和变压器統一裝置在一通风好的箱內，这就是整个励磁裝置。

二、設 計

前面已經談到，我們采用桥式联結，就能把交流变成我們励磁所需要的直流。励磁电流 $I_{\text{励}}$ 和电压 $U_{\text{励}}$ 都是事先給定的。为了满足这一具体要求，在电桥中的每臂必然会有相应的电流通过，以及相应的电压加于其上。并联多少整流片，以及串联多少整流片才能即滿足 $I_{\text{励}}$ 和 $U_{\text{励}}$ 的要求，又不至使整流片损坏呢？这就需要我們設計。

在串并联的过程中，必須注意選擇性能相同的，起碼也要性能相近的整流片。否則，在并联时，会造成电流分配得不均匀，在串联时，会造成电压分配的不均匀，这样都可能引起整流片的毀坏，或者有些整流片的效力沒有得到充分发挥。也必須注意到由于整流片的非线性，串联并联計算电阻的公式不再实用。

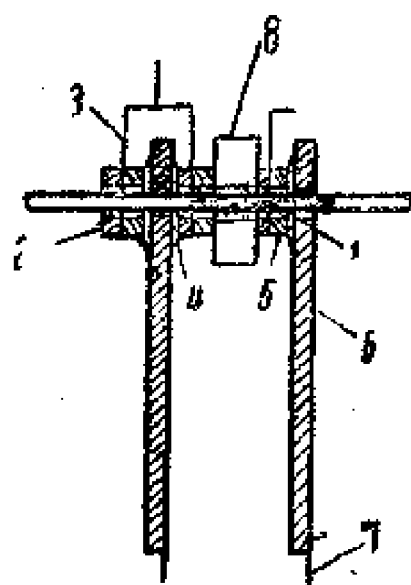


图 2-7 整流片的安装

1—包有絕緣紙的螺杆；2—鉄拉圈；3—銅綫；4—接触彈簧片；5—紙絕緣片；6—氧化銅整流片；7—焊在銅極上的導綫；8—絕緣套。

1. 决定并联的片数 p

为了决定 p ，首先就应该知道允许通过的电流密度 j 为多少，从而决定允许通过的电流值。我们知道 j 取决于发热的情况。利用增加片与片间的距离，在箱子上鑽孔，安置散热片，人工冷却等方法，都能在不同程度上使发热情况得到改善。考虑到我们自制的整流片，当单片在室温为 13°C 时可通过 5 安培，但由于安装后散热不良，我们乘上系数 $K=40\%$ ，即在正常工作时允许通过的电流平均值 $I_{\text{正}}=2$ 安。然后，采用下面公式决定 p ：

$$p = \frac{I_{\text{激}}}{m I_{\text{正}}} \quad (2-1)$$

式中 m ——系数，此处 $m=3$ 。

2. 决定串联的片数 n

根据简单的推导，我们用：

$$n = \frac{K_B U_{\text{励}}}{\sqrt{2} U_{\text{反}} - K'_B U_{\text{正}}} \quad (2-2)$$

式中 $U_{\text{反}}$ ——有效值，前已讲到一般取 8 伏；

K_B ——波形系数，即整流波形的幅值与平均值之比，
此处为 1.045；

K'_B ——可以先取 1.045；

$U_{\text{正}}$ ——负载电流通过单片时（短期作用），在其上的电压降。

对我们自制的整流片，负载电流为 4.9 伏时， $U_{\text{正}}=1.7\sim 2$ 伏。

应当特别注意：上述公式仅是近似的，而且 $I_{\text{正}}$ 的选定也是根据整流片的质量和工作时发热的具体情况决定的，这一切都告诉我们，由前面公式所决定的 p 及 n 都是近似的，只有实

驗才能最合理的決定。但是當確定之後，就可以比較合理的定出 K 及 K_B 的數值，這樣以後，由公式所決定的 p 及 n 也就比較合理。

第三章 复合变压器

第一节 普通变压器的工作原理

大量的實驗確定，當線卷中的磁場變動時，在線卷內就會有電勢產生。

如圖 3-1 所示，兩個線卷分別套在一矩形鐵心的兩柱上，當有一交流電壓 U_1 加在第一個線卷上時，就會在鐵心上產生不斷變化着的磁場，這樣在第二個線卷內就會產生交流電勢。

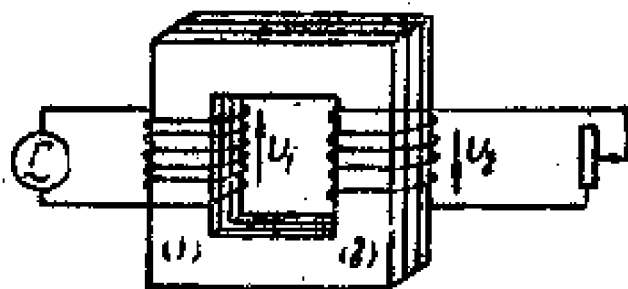


圖 3-1 普通變壓器原理圖

我們把第一個線卷稱作一次線卷，它是輸入端，而把第二個線卷稱作二次線

卷，它是輸出端，用以供給負載所需要的交流電壓。這就是普通變壓器的簡單原理。顯然，變壓器的作用就是把一種給定的交流電壓 U_1 變成另一種我們所需要的交流電壓 U_2 。它們之間有下面的近似關係，即

$$U_1 = \frac{w_1}{w_2} U_2$$

式中 w_1 ——一次線卷的匝數； w_2 ——二次線卷的匝數。

第二节 复合变压器的結構及工作原理

如圖 3-2 為一台配合 7.5 瓩同步發電機勵磁用的复合變壓器

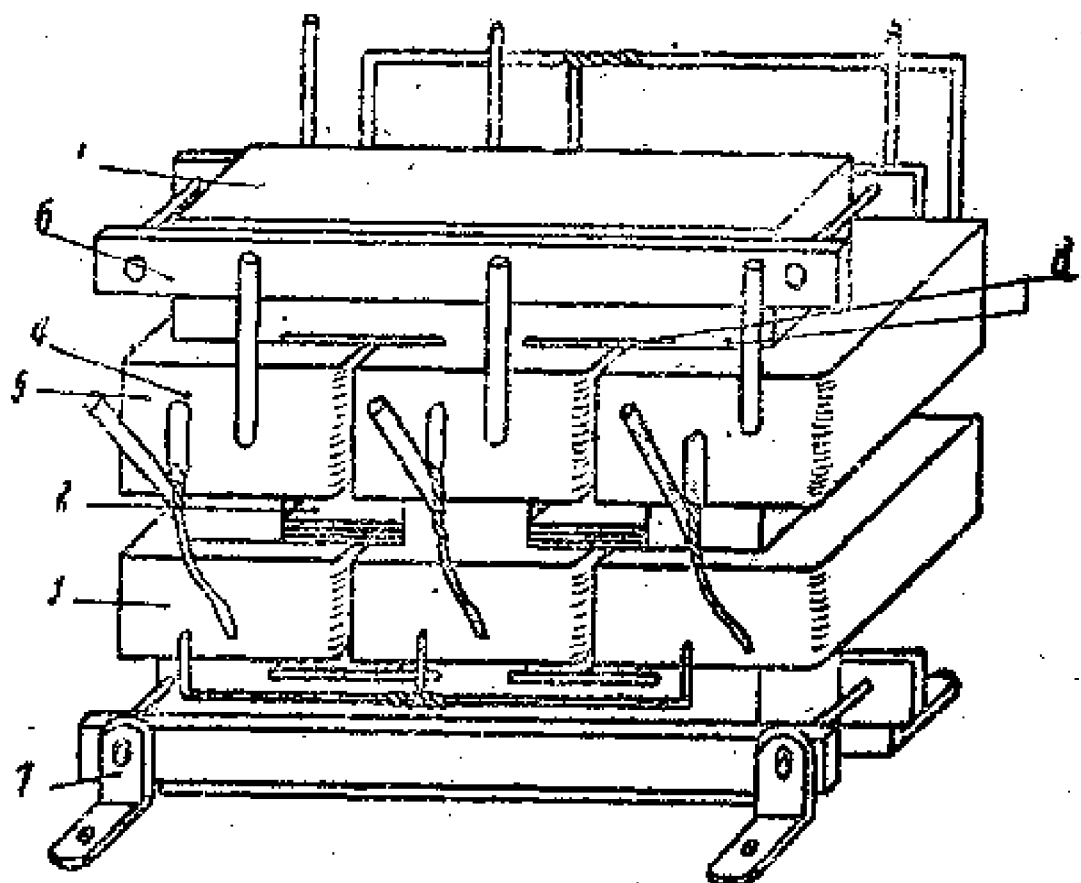


图 3-2 复合变压器全图

之全图，它由下面几部分组成。铁心1；磁分路2；变压器一次线圈3；变压器二次线圈4；串联线圈5；夹板6；脚座7。二次线圈与串联线圈是绕在一起的，串联线圈绕在外面，两个线圈间有绝缘隔开。线圈和铁心接触处用绝缘纸或厚纸8隔开，一方面起绝缘作用，一方面防止铁片擦破线圈绝缘。

这种变压器与普通的变压器不同，在于：

1. 除了有电压线圈（一次线圈）外，还有电流线圈（串联线圈）。

2. 变压器一次线圈与二次线圈之间隔有磁分路。

采用电流线圈是为了发电机励磁不单取决于其电压，而且也取决于其电流，这样励磁便不至于因为电压的下降而减少。

磁分路的作用相当于一个活塞，发电机空载时，从那里漏出去的磁通很大， w_2 中感应之电势小些。带负载后，从那里

漏走的磁通减少， w_2 的电势便大，这就符合我们对励磁的要求。磁分路的另一作用，是在发电机短路时不致在 w_1 上产生高电压。

第三节 复合变压器的设计

要制造一台复合变压器，先要作设计，目的是要决定：
(1)铁心的尺寸，包括铁心的截面大小，窗口大小。(2)变压器一次侧和二次侧的匝数 w_1 ， w_2 。(3)一次侧和二次侧绕卷导线的截面。分别讨论如下。

一、铁心的尺寸

截面的大小决定于变压器的容量，铁心材料的好坏等因素。它选的过大，会使变压器成本太贵，太小性能不好。

窗口的大小要保证所有绕卷和磁分路都能很容易放入。这要在每个绕卷的匝数及导线直径决定后，才能决定。

磁分路片数一般取15片到25片左右，在设计时估计一个数，在最后试验调整时，可适当增减。

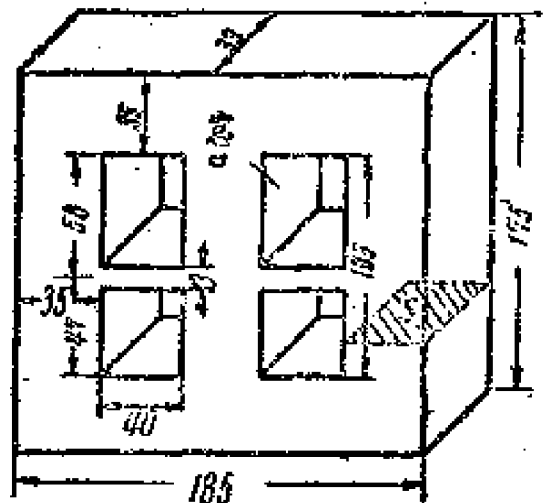


图 3-3 铁心

二、求发电机空载及满载时之激磁绕组之电压及电流

用 $U_{\text{激空}}$ 、 $I_{\text{激空}}$ ， $U_{\text{激满}}$ 、 $I_{\text{激满}}$ 分别表示当发电机空载时及满载时为了保持电压不变所需的激磁绕组电压及电流，为简便起见，它的数值可由试验得到。如图3-4之线路，将发电机运转

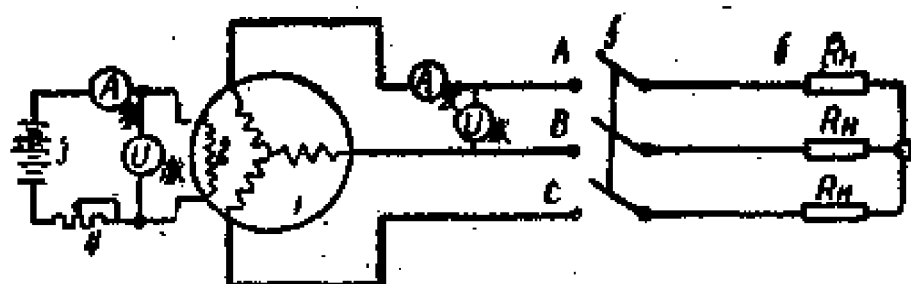


图 3-4 求 $U_{\text{激空}}$ 、 $I_{\text{激空}}$ 、 $U_{\text{激满}}$ 、 $I_{\text{激满}}$ 的线路图

1—同步发电机电枢； 2—激磁绕组； 3—外加直流电流；
4—可调电阻； 5—开关； 6—功率因数为 0.8 的额定负载。

到额定转速，在激磁绕组中通以直流，当发电机空载时，即开关打开，调可变电阻 4 使发电机的电压等于额定值 U_H ，此时在激磁绕组中的电流即 $I_{\text{激空}}$ 两端电压即 $U_{\text{激空}}$ 。当发电机带有功率因数为 0.8 之额定负载时（即把开关合上），调可变电阻 4 使交流电压表为额定值，这时便得到了 $U_{\text{激满}}$ 与 $I_{\text{激满}}$ 。

如没有条件做试验时，也可近似的估计。一般， $I_{\text{激满}} = 2 \sim 2.5 I_{\text{激空}}$ ， $U_{\text{激满}} = 2 \sim 2.5 U_{\text{激空}}$ ，其中 $I_{\text{激空}}$ 与 $U_{\text{激空}}$ 可由发电机原始数据中得到。按前面的式子估计是近似的数值。

三、变压器二次侧的电压、电流

图 3-5 为变压器二次侧的整流电路， U'_2 为线电压， I_2 为线

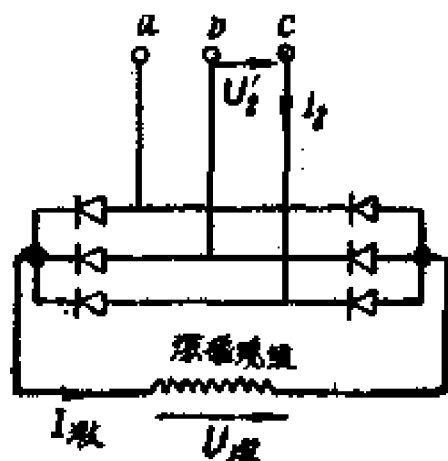


图 3-5 变压器二次侧之整流电路

电流。它们应该由激磁绕组中所流过的激磁电流 $I_{\text{激}}$ 和激磁绕组的端电压 $U_{\text{激}}$ 来决定。

对图中所画的三相桥式电路可用下面公式：

$$U'_2 = \frac{1}{1.35} (U_{\text{激}} + gn U_{\text{正}}) \quad (3-1)$$

改成相电压：

$$U_2 = \frac{1}{1.35\sqrt{3}} (U_{\text{激}} + qn U_{\text{正}}) \quad (3-2)$$

$$I_2 = k_i I_{\text{激}} \quad (3-3)$$

式中 U_2 ——变压器二次侧之相电压；

q ——同时流过电流的臂数，对桥式线路 $q=2$ ；

n ——每组整流器之串联片数；

$U_{\text{正}}$ ——每片通过负载电流 $I_{\text{激}}$ 时整流片之正向电压降，
对我们之氧化亚铜当 $I_{\text{激}}=4.9$ 安时，取 $U_{\text{正}}=1.7\sim 2$ 伏；

$U_{\text{激}}$ ——激磁绕组两端之端电压；

$I_{\text{激}}$ ——激磁绕组中之电流；

k_i ——是整流器的电流比，整流片质量越差， k_i 值越大，一般为 $0.815\sim 0.9$ 。

按照公式(3-2)、(3-3)可以求出空载时和满载时的 U_2 ， I_2 。当计算空载时，用 $U_{\text{激空}}$ 、 $I_{\text{激空}}$ 代入；满载时，用 $U_{\text{激满}}$ 、 $I_{\text{激满}}$ 代入， $U_{\text{激}}$ 、 $I_{\text{激}}$ 之求法已在本节第二项述及。

四、决定变压器一次线卷的匝数 w_1

当忽略一次侧之电阻及漏抗时，有公式：

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f B_{\text{下}} s w_1 \cdot 10^{-8} \quad (3-4)$$

式中 U_1 ——变压器一次线卷的相电压(即发电机之相电压)；

E_1 ——变压器一次线卷的感应电势；

$B_{\text{下}}$ ——为下部铁心的磁通密度(高斯)；

S ——为铁心截面(公分²)；

f ——频率(50周/秒)；

w_1 ——为一次线卷匝数。

由上式可以得到：

$$w_1 = \frac{U_1 \cdot 10^{-8}}{4.44 f B_{\text{下}} S} \quad (3-5)$$

計算时要注意的是， U_1 应该用相电压。如果已知发电机的线电压 $U_{\text{线}}$ ，则 $U_1 = \frac{U_{\text{线}}}{\sqrt{3}}$ (如图3-6)。

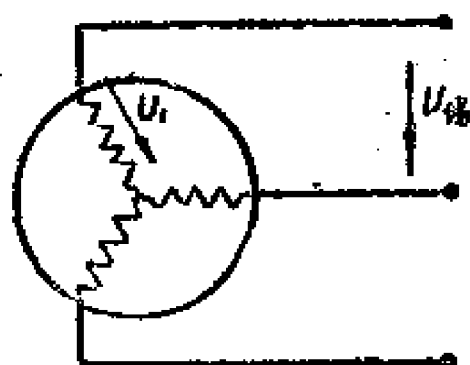


图 3-6 发电机 $U_{\text{线}}$ 与 U_1 的关系

$B_{\text{下}}$ 根据不同铁心材料取不同数值，对一般的矽钢片可取 $B = 11,000$ 高斯。

要想取得合理的 w_1 、 S ，可以选择几个不同的截面进行计算，最后采用重量小、成本较低的一个方案。一般 S 取得大一些 (即矽钢片多用些) 可使成本降低一些，但整个变压器重量将增大一些。

五、决定变压器二次侧匝数 w_2

由于磁分路的存在，一部分磁通由磁分路流过，铁心上部的磁通密度 $B_{\text{上}}$ ，只是下半部的一部分，即：

表 3-1

$n_{\text{分}}$	$k_{\text{分}}$
10	0.95
15	0.90
20	0.76

$$B_{\text{上}} = k_{\text{分}} B_{\text{下}} \quad (3-6)$$

$k_{\text{分}}$ 是一个小于 1 的系数，它与磁分路的矽钢片厚度、片数有关。对厚为 0.5 公厘的矽钢片 $k_{\text{分}}$ 与分路片数 $n_{\text{分}}$ 之关系如表 3-1。

$B_{\text{上}}$ 在二次侧感生之电压：

$$U_{2\text{空}} = 4.44 f B_{\text{上}} S w_2 \cdot 10^{-8} \quad (3-7)$$

将式 3-6 代入上式得：

$$U_{2空} = 4.44 f k_{分} B_{下} S w_2 \cdot 10^{-8} \quad (3-8)$$

公式(3-4)与(3-8)相除得:

$$\frac{U_1}{U_{2空}} = \frac{w_1}{k_{分} w_2}$$

所以 $w_2 = \frac{w_1 U_{2空}}{k_{分} U_1} \quad (3-9)$

式中 $U_{2空}$ 可由公式(3-2)得到。

六、在发电机额定负载情况下

串联线卷之匝数 $w_{串}$

要准确的计算出 $w_{串}$ 是非常困难的, 因为在额定工作时 w_1 、 $w_{串}$ 中都有电流, 变压器处在极其复杂的工作状态中。为简便起见, 可以根据以下的经验公式求 $w_{串}$ 。 $w_{串}$ 之准确值可在变压器绕好后, 配在发电机上作试验来求得。

由经验公式:

$$I_{2满} \cdot w_2 = k_{串} \cdot I_{满} \cdot w_{串} \quad (3-10)$$

式中 $k_{串}$ ——1.5~2.5 ($k_{分}$ 大时, $k_{串}$ 可取小些);

$I_{满}$ ——发电机额定工作时(满负载时)的电流。

求得 $w_{串} = k_{串} w_2 \frac{I_{2满}}{I_{满}} \quad (3-11)$

七、求当发电机空载时, 变压器一次侧的电流 $I_{1空}$

发电机空载时, 复合变压器输出及铁心中消耗的能量, 全部由一次线卷 w_1 供给, 因而此时 w_1 的电流最大。发电机带上负载后, 变压器的输出能量大部分由 $w_{串}$ 供给, w_1 只要维持下半部铁心的磁化功率即可。此时经过 w_1 中之电流, 反而比发电机空载时小。因此要决定 w_1 导线的截面, 应该求出空载时 w_1 中的电流 $I_{1空}$ 。

按經驗公式：

$$I_{1\text{空}} = 1.5 \frac{I_{2\text{空}} w_2}{w_1} \quad (3-12)$$

式中 $I_{2\text{空}}$ 由式(3-3)得到。

應該注意的是这里系数 1.5 是根据 341, 0.5 公厘的矽鋼片測出的。对于性能較差的材料，此系数应取大些。

八、选择每个綫卷的导綫直徑

按公式决定导綫截面：

$$S = \frac{I}{j}$$

式中 j ——电流密度(安/公厘²)；

S ——导綫截面积(公厘²)。

因为
$$S = \pi \frac{d^2}{4},$$

所以
$$d = \sqrt{\frac{4I}{\pi j}},$$

知 I 和选定 j 后即可求得 d (公厘)。

式中 I 代以 $I_{\text{串}}$ ，即得串联綫卷导綫直徑 $d_{\text{串}}$ ，代以 $I_{2\text{滿}}$ ，即得二次側綫卷导綫直徑 d_2 ；代以 $I_{1\text{空}}$ 即得一次側的导綫直徑 d_1 。

j 值一般取 3 安/公厘²，但在求 $d_{\text{串}}$ 时，因 $w_{\text{串}}$ 匝数很少，且繞在外面，其 j 可取大些(3~4 安/公厘² 左右)。

九、三相变压器鉄心之窗口面积

鉄心之截面前面已选好，还要选窗口的大小，这应保証所有綫卷和磁分路能很容易放入，且应稍有余裕。

綫卷之断面可按下式求得：

$$S = \frac{1}{k} w \pi \frac{d^2}{4} \quad (3-14)$$

式中 S ——綫卷断面(有絕緣时);

k ——占空系数, 即导綫无絕緣时所占断面与綫卷实际断面之比值(純銅所占断面与实际断面的比)。与导綫直徑及絕緣形式有关, 看下表。

导 綫 直 徑 d (公 厘)	漆 包	紗 包
0.1—0.2	0.1—0.2	—
0.2—0.4	.2—0.3	—
0.4—0.8	0.3—0.35	0.1—0.2
0.4—1.5	0.35—0.45	0.2—0.3

对 $d > 1.5$ 公厘时, 可把絕緣厚度考虑在內, 具体摆一下即可。

上面計算窗口面积的方法是在繞制綫卷技术很熟練的条件下, 对初繞的人由于导綫排列不够整齐, 会使綫卷尺寸加大, 所以在考虑窗口面积时, 也要放大些。

第四节 复合变压器的制造工艺

我們試制的复合变压器見前面图3-1。材料用 $\Phi 410.5$ 公厘矽鋼片, 磁分路为 0.5 公厘厚的矽鋼片 25 片, 綫卷布置如图3-7, $w_1 = 400$ 匝、 $w_2 = 60$ 匝、 $w_{串} = 20$ 匝 (此处数值与后面的計算举例不同, 因在这里是按硒整流設計得到的)。

下面討論一下主要的制造工艺:

1. 鉄心: 每层用山字形与一字形两种矽鋼片迭成。对于任

何相邻的两层，它们的位置都互为倒置的，如图3-8。如第一层象1)那样，则第二层就象2)那样。但在未套入线卷前应如(图3-9)那样，上部要开口，而下部用螺钉拴住以便绕制好的线卷能从上部套入。待线卷装入后，再一片片插入，如图3-10所示。将上部铁心全插好后，用木槌敲齐(不许用铁器敲打)，用螺钉夹紧(夹的不紧通电后响声太大)，以后再一片片插入磁分路，如找不到上述的砂钢片，可采用距形砂钢片，这样形状

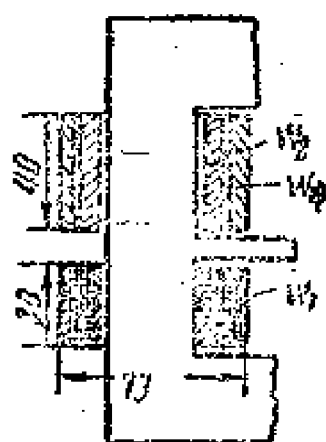


图3-7 线卷布置图

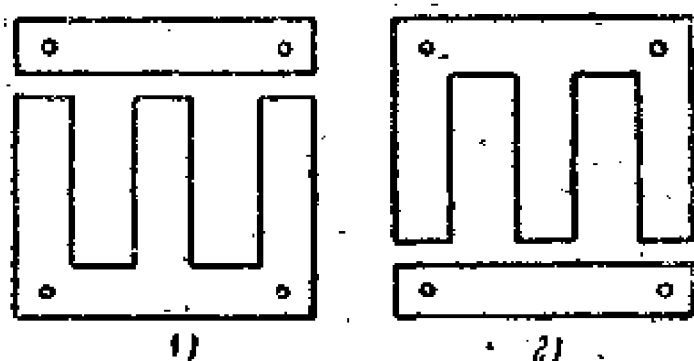


图3-8 砂钢片迭法

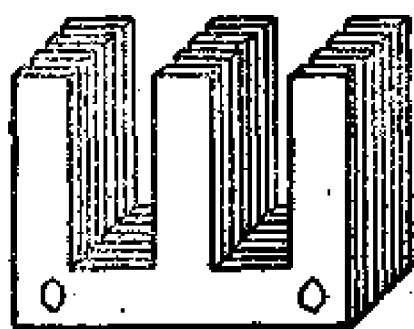


图3-9 未装入线卷时的铁心

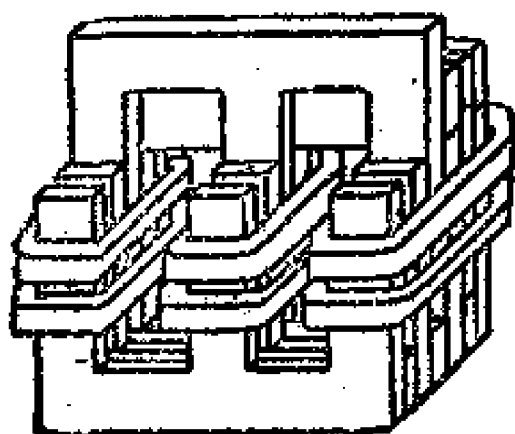


图3-10 插上部铁心

的铁心可用土法剪裁。迭时如图3-11，第一层象1)，第二层象2)。但在未装入线卷时和前面讲的一样，上面要开口，为防止松散，腹部与三个铁柱要用布带缠紧。等线卷装好后敲齐，用

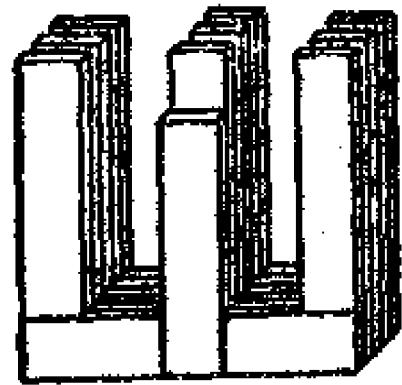
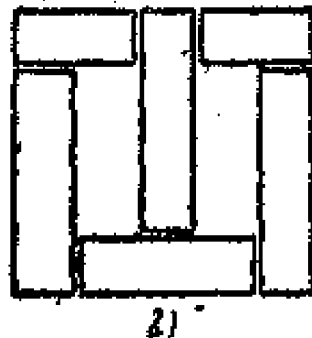
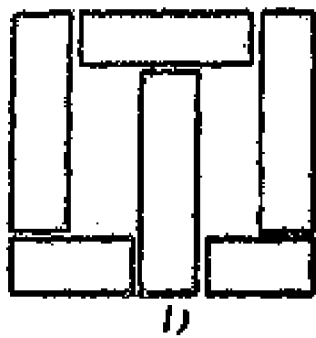


图 3-11 矩形鉄心迭法

图 3-12 矩形鉄心未装入綫卷时

四块鉄板或木板把鉄心夹紧而固定在底座上。

2. 綫卷骨架：用木头作长方体，中間鑽孔，木心大小应考虑到綫卷繞好后的变形以及包絕緣的影响，从而使綫卷高度加大，而綫卷之內孔令縮小，所以制木心时要比鉄心截面粗些，而高度則要小些。

木心两头有擋板，其中有一个是活动的，可自由取下，以便繞好的綫卷由这头取下。擋板上之沟槽是向外抽头时用的。每个綫卷高度所占的比例，要适当，避免一个太挤放不进去而另一个却太松。

3. 綫卷繞制：将骨架固定在繞綫架上，繞綫卷时要注意繞每个綫卷时繞的方向都一样，所有起头都放在同一位置，这样对于以后綫路連接时很方便。

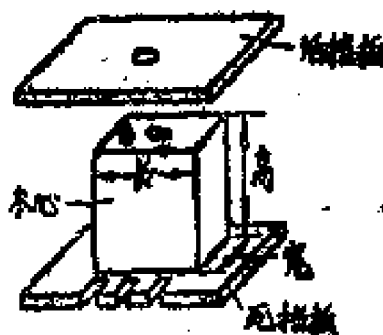


图 3-13 綫卷骨架

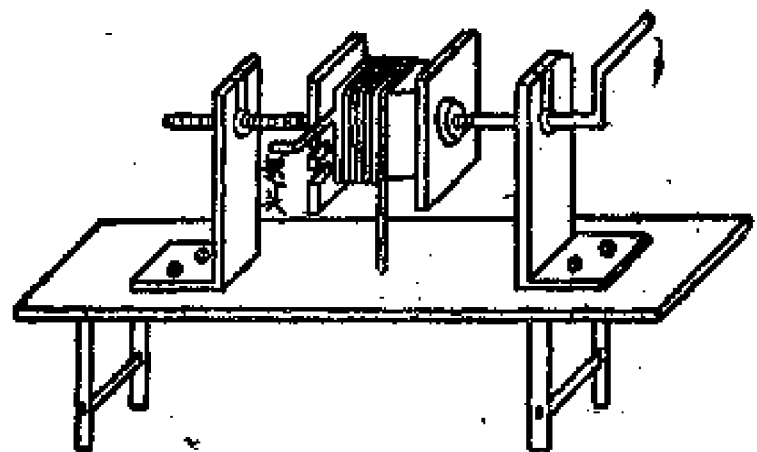


图 3-14 繞綫方向与起头位置图

綫卷繞制时要层間絕緣(可用一般較薄較軟的紙), 綫卷繞好后要在外面包以絕緣(可用白布帶)。

計算时不可能得到很准確的結果, 为此在初制时, 每个綫卷都应多留几个抽头, 这一点尤其在第一次作时更为必要。建議抽头匝数 $w_{串}$ 按 $\pm 20\%$, w_1 按 $\pm 10\%$, 而 w_2 則按 $\pm 10\%$ 或 $\pm 20\%$ 。每个綫卷的抽头要集中放在綫卷外表面的一个側面, 以便于以后安装和接綫。抽头要标有明显的標記, 以表明不同匝数, 且要有順序的排列, 相同匝数的抽头要放在同一位置。要注意抽出的头和綫卷中別的導綫間的絕緣。

串联綫卷 $w_{串}$ 与变压器二次側的綫卷是繞在一起的, 它們的抽头可分別放在相对的两个側面, 这样在安装时才不致使抽头跑在窗口里面去, 而妨碍綫卷的套入鉄心。

$w_{串}$ 綫卷是紧紧繞在 w_2 之外面, 它們之間要絕緣好。

遇有導綫接头处, 可引到外面或在里面仔細用絕緣材料包好, 無論放在外面或里面都要用錫焊牢, 經驗証明, 断綫事故往往发生在这里。放在綫卷里面的接头, 不要把它放在拐角处。

繞制过程中要使導綫尽量排列整齐, 導綫不可拉得过紧, 以防挤坏层間及導綫本身的絕緣。

第五节 复合变压器的檢查与試驗

1. 綫卷安放位置檢查: 檢查相同名称的三个綫卷是否放在相对应的位置上, 抽头的起头和相同匝数的抽头是否也放在相对应的位置上。这项工作应在綫卷装在鉄心上以后时进行。

2. 断綫檢查, 可用欧姆表或用一个灯泡与綫卷串联, 由电灯是否亮来判別。这项工作要在綫卷繞好后立即檢查。

3. 匝間短路檢查: 这项工作也要在綫卷繞好后, 馬上用短

路檢查器檢查，如无此設備，則只好在以後變壓器運行時，注意繞卷是否有過熱現象（即在短時通電繞卷的溫度就達到很高數值），如有過熱現象說明里边一定有短路發生，只好重繞。在利用舊繞時很容易發生這種現象，所以在繞制過程中，就應注意匝與匝間絕緣問題。

4. 絕緣電阻測定：這要在製造變壓器全部工作完成後才作。低壓時用 500 伏或 1,000 伏搖表，檢查每個繞卷對地（地即鐵心）及各繞卷間之絕緣電阻。如无這種設備則應在繞制過程中特別注意絕緣問題，在插鐵心時千萬別把絕緣刺破。

第四章 自勵裝置的設計舉例

第一節 設計步驟

1. 決定整流片片數：在這裡是採用三相橋式整流電路，共六組。應決定每組由幾片并聯，幾片串聯，由公式 (2-1)、(2-2) 決定。由於整流片的參數不能完全一樣，所以盡量不採用并聯方法，而用較大的整流片尺寸來滿足電流的要求的。

2. 當發電機空載及滿載時，求變壓器二次側之電壓、電流 $U_{2空}$ 、 $I_{2空}$ 、 $U_{2滿}$ 、 $I_{2滿}$ 。由公式 (3-2)，(3-3) 決定。

3. 決定變壓器鐵心截面及一次繞卷匝數 w_1 ，可按公式 (3-4)。

4. 決定二次繞卷匝數 w_2 ，按公式 (3-9) 求。

5. 決定串聯繞卷匝數 $w_{串}$ ，按公式 (3-11) 求。

6. 決定當發電機空載時變壓器一次側電流 $I_{1空}$ ，按公式 (3-12) 求。

7. 選繞卷導線直徑。按公式 (3-13) 計算。

8. 决定变压器窗口面积，按 (3-14) 最后确定变压器铁心的尺寸。

第二节 设计举例

已知原始数据：同步发电机额定功率7.5瓩，电压230伏、电流23.5安、轉数1,500轉/分、頻率50周/秒、激磁繞組电阻 $R_{105}^{\circ\text{C}} = 11.3$ 欧。

空載：激磁电压 $U_{\text{激空}} = 21.1$ 伏、激磁电流 $I_{\text{激空}} = 2.48$ 安。

滿載： $\cos\varphi = 0.8$ $U_{\text{激滿}} = 56$ 伏、 $I_{\text{激滿}} = 4.95$ 安。

一、选择整流片数

并联片数按公式(2-1)求：

$$P = \frac{I_{\text{激滿}}}{m I_{\text{正}}} = \frac{4.95}{3 \times 2.0} = 0.825 < 1; \text{取 } p = 1.$$

式中 $I_{\text{正}}$ 为正向允許通过之电流，它与整流片的质量及尺寸有关。此处按我們自制的氧化亚銅取 $I_{\text{正}} = 2$ 安。

每組串联片数按公式(2-2)求：

$$n = \frac{K_B U_{\text{激滿}}}{\sqrt{2} U_B - K_B U_{\text{正}}} = \frac{1.045 \times 56}{\sqrt{2} 28 - 1.045 \times 1.7} = 6.15.$$

取

$$n = 7$$

二、决定变压器二次侧之

电压电流 $U_{\text{空}}$ 、 $I_{\text{空}}$ 、 $U_{\text{滿}}$ 、 $I_{\text{滿}}$

由公式(3-2)，(3-3)：

$$U_{\text{空}} = \frac{1}{1.35 \sqrt{3}} (U_{\text{激}} + q n U_{\text{正}}).$$

对三相桥式 $q = 2$ ，对土制氧化亚銅 $U_{\text{正}} = 1.7$ 伏， $n = 7$ 。

$$I_2 = K_1 I_{\text{激}}, \quad \text{取 } K_1 = 0.9。$$

空載時：

$$\begin{aligned} U_{2\text{空}} &= \frac{1}{1.35\sqrt{3}} (U_{\text{激空}} + qnU_{\text{正}}) \\ &= \frac{1}{1.35\sqrt{3}} (21.1 + 2 \times 7 \times 1.7) = 19.25 \text{ 伏。} \end{aligned}$$

$$I_{2\text{空}} = K_1 I_{\text{激空}} = 0.9 \times 2.48 = 2.24 \text{ 安。}$$

滿載時： $\cos\varphi = 0.8$, $I_{\text{滿}} = 23.5 \text{ 安。}$

$$\begin{aligned} U_{2\text{滿}} &= \frac{1}{1.35\sqrt{3}} (U_{\text{激滿}} + qnU_{\text{正}}) \\ &= \frac{1}{1.35\sqrt{3}} (56 + 2 \times 7 \times 1.7) = 34.2 \text{ 伏} \end{aligned}$$

$$I_{2\text{滿}} = K_1 I_{\text{激滿}} = 0.9 \times 4.95 = 4.45 \text{ 安。}$$

三、決定變壓器鐵心截面 S 及 w_1

取 $S = 3.3 \times 3.5 = 11.55 \text{ 公分}^2$, $B_F = 11,600 \text{ 高斯。}$

由公式(3-4)：

$$w_1 = \frac{U_1 \cdot 10^8}{4.44 f B_F \cdot S} = \frac{\frac{230}{\sqrt{3}} \cdot 10^8}{4.44 \times 50 \times 11600 \times 11.55} = 445 \text{ 匝。}$$

四、決定二次繞卷匝數 w_2

$$w_2 = \frac{w_1 U_{2\text{空}}}{k_{\text{分}} U} = \frac{445 \times 19.25}{0.76 \times \frac{230}{\sqrt{3}}} = 85 \text{ 匝,}$$

在這裡取 $n_{\text{分}} = 20$ 所以 $k_{\text{分}} = 0.76$ 。

五、決定串聯綫卷 $w_{串}$

按公式(3-11):

$$w_{串} = \frac{k_{串} w_2 I_{2滿}}{I_{滿}} = \frac{2 \times 85 \times 4.45}{23.5} \approx 32 \text{匝} .$$

式中取 $k_{串} = 2$.

六、決定發電機空載時變壓器一次側電流 $I_{1空}$

由公式(3-12):

$$I_{1空} = 1.5 \frac{I_{2空} w_2}{w_1} = 1.5 \frac{2.24 \times 85}{445} = 0.64 \text{安} .$$

七、選綫卷導綫直徑

由公式(3-13):

對串聯綫卷: $I_{滿} = 23.5$,

$$d_{串} = \sqrt{\frac{4 I_{滿}}{\pi j}} = \sqrt{\frac{4 \times 23.5}{\pi \cdot 4}} = 2.64 \text{公厘} .$$

其中取 $j = 4 \text{安/公厘}^2$.

對變壓器一次綫卷: $I_{空} = 0.786 \text{安}$,

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 I_{1空}}{\pi j}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.64}{\pi \cdot 3}} = 0.521 \text{公厘} .$$

其中取 $j = 3 \text{安/公厘}^2$.

對變壓器二次綫卷: $I_{2滿} = 4.45 \text{安}$,

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 I_{2滿}}{\pi j}} = \sqrt{\frac{4 \times 4.45}{\pi \cdot 3}} = 1.375 \text{公厘} .$$

八、窗口面積

按公式(3-14):

一次綫卷所占面积 $= \frac{1}{h_1} \frac{d_1^2}{4} \pi w_1 = \frac{1}{0.3} \frac{(0.521)^2}{4} 2 \times 445 = 316 \text{公厘}^2$ 。

二次綫卷所占面积 $= \frac{1}{h_2} \frac{d_2^2}{4} \pi w_2 = \frac{1}{0.35} \frac{(1.38)^2}{4} \lambda \times 85 = 362 \text{公厘}^2$ 。

串联綫卷所占面积 $= d_{\text{串}}^2 w_{\text{串}} = 2.8^2 \times 32 = 250 \text{公厘}^2$ 。

把导綫絕緣考虑在內，取 $d_{\text{串}} = 2.8 \text{公厘}$ 。在这里因为 $d > 1.5$ 是把圓形截面当作方形来考虑得到的。

磁分路所占面积 $= n_{\text{分}} b \times a = 20 \times 0.5 \times 40 = 400 \text{公厘}^2$ 。

式中 b ——矽鋼片厚；

a ——估計的窗口寬度。

窗口总面积 $= 2(316 + 362 + 250) + 400 = 2256 \text{公厘}^2$ 。

窗口寬度为 40 公厘，但考虑絕緣及綫卷孔要大些，所以窗口之有效寬度定为 3.5 公厘。

$$\text{窗口高} = \frac{\text{总面积}}{\text{寬}} = \frac{2256}{35} = 64.5 \text{公厘}。$$

再取大些，取高 = 90 公厘。

到現在为止，鉄心尺寸已全部确定了，截面 = 11.55 公厘，窗口寬 = 40 公厘，高 = 90 公厘。

第五章 自励发电机的运行試驗

第一节 綫路的联接

联接变压器綫卷时要特別注意綫卷的方向，应严格按图中所示的联接法，以保証磁通方向的一致。在繞制綫卷和安装

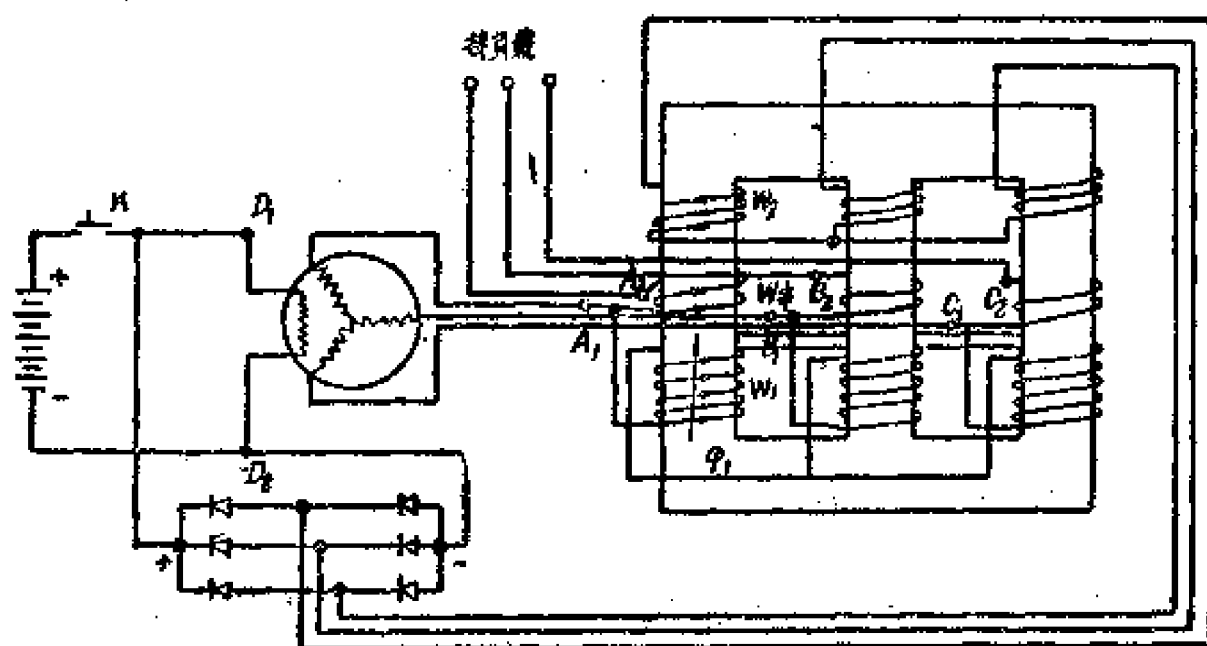


图 5-1 自励装置线路图

时，注意绕的方向及起头、抽头的位置，对判别线卷绕向很有利。

联接整流装置时，对外面来说整流片的铜是正极，锌是负极。

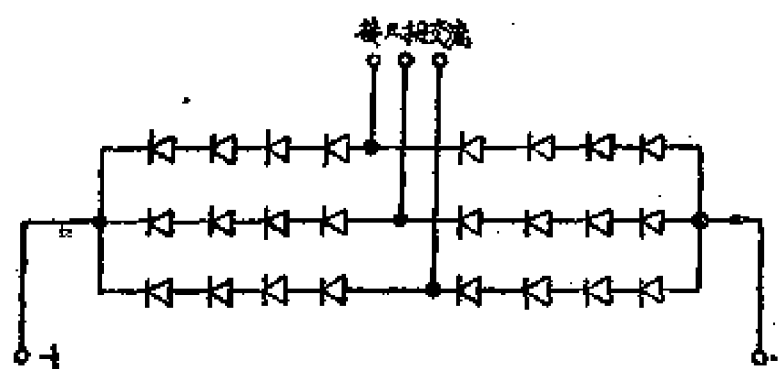


图 5-2 三相桥式整流电路联接法

联接电池组时电池的正极与整流器之正极相接。装设电池的目地，是为了建立初始电压。

自激线路联接好后，一般说来，不会

马上合乎要求，一定要作试验调整。下面的实验除启动鼠笼电动机短路试验和并列运行可以不作外，其它各项都要作。

第二节 调整试验

本试验是在发电机未开动时，在变压器一次端加上等于发

电机额定电压的交流电源，看整流器之输出是否等于发电机空载时所要求的激磁电流。

如图5-3把交流电源经过调压器加在变压器之一次线圈上，副端(二次线圈)和整流装置相接，整流出之直流接在发电机激磁绕组中去，试验时在给电前先把调压器降到零点，由零点向上

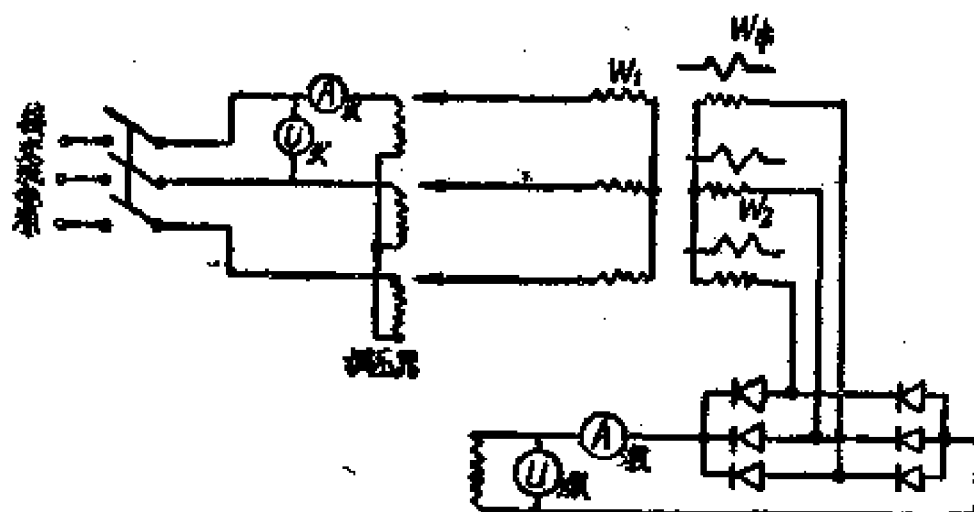


图 5-3 调整试验线路

A—电流表； V—电压表。

升，当交流电压等于发电机额定电压时，看此时激磁绕组中电压与电流是否与发电机空载时要求的励磁电压电流相同，如太大则说明 w_2 匝数多了。换换抽头或增加磁分路片数，或改变 w_1 匝数就可。合乎要求后，调变压器一次侧电压 U_1 由零变到额定电压的115%左右，将各表读数记录下来。

以下的试验记录都是由7.5瓩发电机自激装置得到的。

$w_1 = 400$ 匝， $w_2 = 60$ 匝，磁分路25片(0.5公厘厚矽钢片)。

U_1 (伏)	2.8	6.2	11.5	28.1	52	100	150	200	250
$I_{\text{激}}$ (安)	0.0025	0.012	0.045	0.123	0.50	1.08	1.7	2.3	2.86
$U_{\text{激}}$ (伏)	0			1.5	4	8.9	14	19	23.8

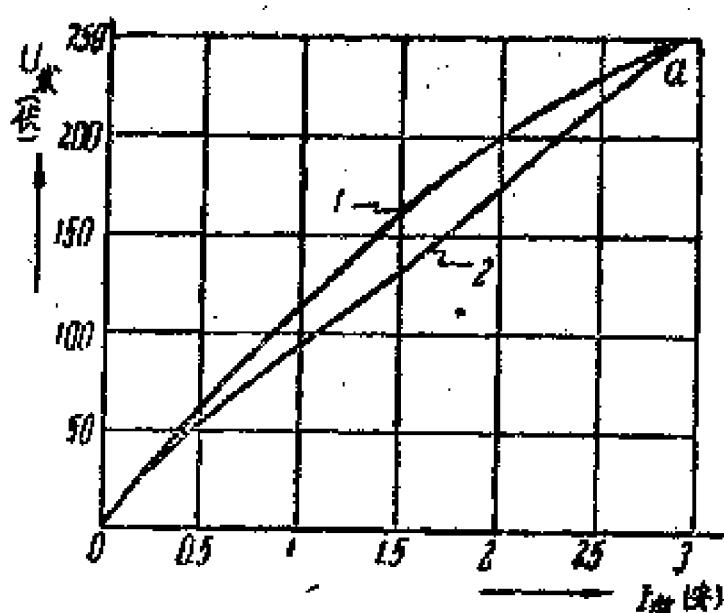


图 5-4 空载时励磁装置输入输出特性

1—空载特性；2—空载时励磁装置输入输出特性。

考虑在小型工厂或农村中无调压器时可以把电源直接加在变压器一次侧，但不要马上把二次线卷接到整流装置上去，用交流电压表去量各抽头的线电压，凡不超过在设计时所求得的变压器二次侧的线电压 U_2 （由公式 3-1 决定）5% 的抽头都可把它直接与整流装置相

接。线路图仍如图 5-3，仅仅少了一个调压器。当然这时因为没有调压器也就无法作它的特性曲线。调整方法仍同前，调到激磁电压电流同时等于空载时之励磁电压、电流时为止。

第三节 自激试验

经过上面的试验确定 ω_1 加上额定电压时整流器输出已合乎发电机空载时之要求，就可以进行本试验。本试验的目的是看靠整出之直流，能否把发电机之电压建立起来并且使其等于额定电压。

将发电机运转起来，使达额定转速，线路图如图 5-5。按一下启动开关 K （2 秒钟，或长些），看发电机之电压是否等于 $U_{\text{额}}$ （即额定电压），不等可调 ω_2 ， ω_1 匝数，也可增减磁分路片数（与前面一节一样）一直到交流电压满足要求等于 $U_{\text{额}}$ 时为止。

如果不能激起电压，可能由于激磁与剩磁方向相反，这时

可把激磁繞組之二端頭對調；也可能由于電池組電壓不夠，這就要再增加干電池數目。

我們制成之裝置：

$w_1 = 400$ 匝， $w_2 = 60$ 匝，磁分路 24 片，用干電池 6 對（手電筒用），按一下開關 K ，發電機電壓從零慢慢上升，到 231 伏穩定，即圖 5-4 之 a 點。

第四節 調差率試驗

到目前為止，發電機空載時已能有額定電壓，但還要看看加上負載後電壓能不能維持恆定。

綫路圖如圖 5-5，但要在 1、2、3 端接負載（電燈、水電阻或電動機）再接一個三相開刀開關，如圖 5-6 慢慢增大負載即

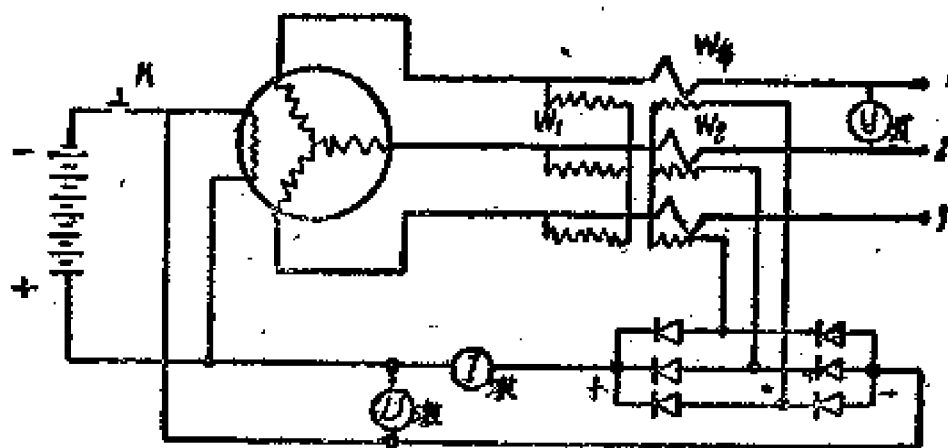


圖 5-5 自激試驗綫路

交流綫電流增大，則電流等于額定時 $I_{\text{滿}}$ ，看電壓的變化不超過 5% 即可認為滿意。如不合乎要求，如下降太多，可增大 $w_{\text{串}}$ 匝數，也可增加磁分路片數。

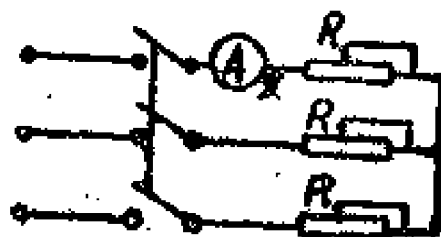


圖 5-6 接負載

試驗記錄:

$w_1 = 400$ 匝, $w_2 = 60$ 匝, $w_{串} = 25$ 匝, 磁分路 24 片, 电阻性負載。

由图5-7可見, 在 70% 額定負載时, 电压变动很小, 在滿載时下降 5%, 滿足要求。

$I_{发}$ (安)	0	13.6	17	22	28.7
$U_{发}$ (伏)	231	232	232	226	206

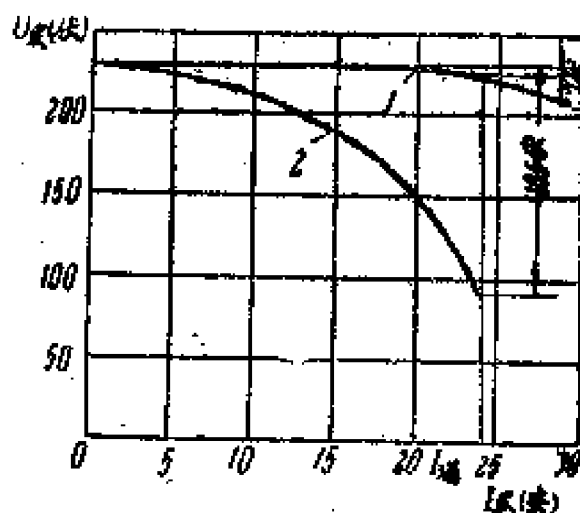


图 5-7 外特性曲綫

1—用自激装置时; 2—用励磁机时。

第五节 启动鼠籠电动机試驗

綫路图仍如前节, 但把負載改成鼠籠电动机, 使电动机容量接近发电机容量。合上开关, 記錄启动時間。

下表是空載启动鼠籠电动机所需之時間。

与发电机容量比 (%)	电动机容量 (瓩)	启动時間 (秒)	
		用本装置	用励磁机
22.6	1.7	0.8	0.4
45.3	3.4	1.4	
68.0	5.1	1.5	1.8
90.5	6.8	1.5	5.5
113.4	8.5	1.5	11.8

由表中可見空載启动 113% 額定容量之鼠籠电动机仅 1.5 秒, 而用励磁机励磁則为 11 秒。

第六节 短路試驗

当三相突然短路时，发电机电压由 231 伏馬上下降。由电压表中看到指針摆到零位又回到55伏而稳定，电流則由零位突增到 140 安又回到30安而稳定。激磁电流則由2.75安摆到4.5 安又回到2.7安，激磁电压由24伏到30伏又回到 25 伏。把短路切除后，交流电压不再恢复，而下降到零位。如再运用則必須重新励磁。短路切除后电压降到零点，是我們試制产品的缺点，有待进一步改进。

第七节 並列試驗

带有自励装置的发电机也可以和其它发电机并联运用，或和电网并联。并联运行时，在励力磁回路中要串入电阻，以調节无功功率分配。并列的条件与普通同步发电机相同，即轉数、相序、电压值相同。也可不看电压值，用自动同期法，即使发电机达額空轉数相序正确即可合閘。

綫路图与图5-5一样，但在1、2、3 端經一三相閘刀开关与电网相接，在开关兩側接三个灯泡（如图5-8）。当轉数达額定时，将发电机电压激起，如三个灯輪流熄灭，即相序正确，如同时亮同时暗是相序不对，可把三根綫中之二根对調即可。

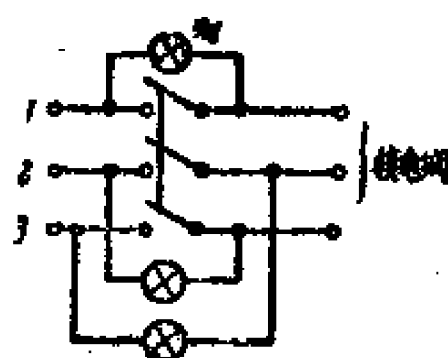


图 5-8 并聯綫路

两台容量相同的自动同步发电机在并联运行时，必須把激磁繞組互相并聯。

第八节 运行时注意事項

运行要注意以下各点：

1. 不要放在潮湿、多灰尘的地处，这点会影响絕緣，整流片会被击穿，干电池会跑电。

2. 常常測量各部分温度，不許超过允許温升（温升就是比周圍空气温度升高的攝氏度数），对氧化亚銅不許超过 35°C ，对鉄心及綫卷为 65°C 。这是指空气在 35°C 时說明的。

3. 当发电机停止运转时或发生短路后再运行，要按一下启动开关，以便建立起电压。

4. 由于整流器性能变动，可能发电机电压会变化，这时可换接变压器二次側抽头。

5. 常常檢查干电池是否有电，一定时期后应更換新的。

第九节 經濟比較

与制造励磁机比較，很明显可以看出制造自励裝置的簡單和經濟。

1. 材料方面：它所需之主要材料列表于下：

名 称	規 格	重 量(公斤)	单 价 (元)	总 价 (元)
矽 鋼 片	0.5公厘	6.2	1.3	8.05
漆 包 綫	采用了三种	2.4	7	16.8
紫 銅 板	1.3公厘	4	5.5	22
計				46.3

2. 工时：在設備齐全时大約10个劳动日左右即可完成，隨

着技术熟练程度的提高，还可大大的缩短。

3. 制造方法比较容易掌握。

4. 重量：自励装置约20公斤，而励磁机约55公斤，前者只有后者的三分之一。

5. 体积：它是长、宽、高，各为30公分的立方体，励磁机的直径为30公分，长为35公分，比励磁机稍大些。实际上还可以缩小一些，但由于我们考虑到大些散热较好，而且这对在农村中工作并无害处。

6. 成本：估计一百元左右，励磁机则要500元，可见，采用本装置成本只有励磁机的五分之一。

7. 制造设备：主要是两个电炉（ 1030°C 与 600°C ）和绕线机等，而制造励磁机则需要多种机床，如：拉床，铣床，压力机，电烘箱等。

結 束 語

由本书所述，我们可以肯定，对于功率较小的发电机采用这种励磁方法，将比原来用直流电机的励磁方法，各方面都优越些。

但是，必须指出，由于我们时间仓促，还有一些问题来不及进一步研究。这些问题是：

1. 作整个实验时，当短路切除后，端电压为零，需要重新励磁，这是我们所不希望的。

2. 考虑到全民办电，加热铜板时用的电炉，应当尽量自制。事实证明，这完全是可能的，哈尔滨电话局在这方面已经获得成功（不过他们作的整流片的面积很小，大约 $S = 1\text{厘米}^2$ ）。

3. 虽然整流片不随便采用人工冷却装置，因为这样会使结构复杂，但由于发电机本身就有风扇装置，我们可以把整流片组放置在风扇旁（即放在电机内部），这样通过整流片的电流可以大大增加，从而节省其用量。由于时间关系我们这一步还未做到。

4. 因为氧化亚铜整流片的特性是允许通过的电流大、允许反电压小，若我们自己设计电机时，应当使 $U_{\text{激}}$ 小些，而 $I_{\text{激}}$ 大些，这样就可以少用很多整流片。

5 氧化铜整流片与硒整流片相比较，各有优缺点，到底采用那一种，应当根据具体情况决定。也应当指出，自制硒整流片并不是十分困难的事，但因为它的材料比较难找到，我们还没有在这方面作任何工作。

